

输出齿轮轴断齿分析

■ 陈润松, 姜永升, 李忙, 于建英

摘要: 风电齿轮箱输出齿轮轴材质为18CrNiMo7-6, 表面经过渗碳淬火处理, 在运行中发生多齿断裂失效, 对其断口、化学成分、显微硬度、硬化层深度、显微组织进行观察和分析。结果表明, 该输出齿轮轴运行过程中润滑冷却不良, 使啮合齿面间形成较大摩擦力, 降低材料的接触疲劳强度, 造成齿面金属剥落, 最终导致断齿。同时渗层存在较严重网状碳化物也会降低齿轮使用寿命。

关键词: 疲劳; 齿面点蚀; 接触疲劳强度; 啮合扭转刚度; 断裂

风电齿轮箱用输出齿轮轴, 运行一段时间后发生多齿折断, 齿面出现大面积金属剥落, 受损情况严重, 如图1所示。该齿轮材质为18CrNiMo7-6, 加工工艺为正火→滚齿→渗碳+淬火→低温回火→磨齿。

1. 试验材料及方法

(1) 宏观分析 从图2可以看出, 在齿面一侧节线附近存在较大面积大块金属剥落现象, 剥落坑较大且深, 边缘轮廓较清晰, 但形状不规则, 凹坑断口较光滑, 可见疲劳弧线^[1]。

(2) 齿轮未受损区金相分析 显微组织(显微组织按TB/T 2254评定), 如图3~图5所示。可以看出该输出轴齿轮表面组织(2级)与心部组织(6级)均符合技术标准要求。但是其齿面和齿根位置存在严重的网状碳化物, 经过测量在齿面处的网状碳化物深度为0.4mm。依据TB/T

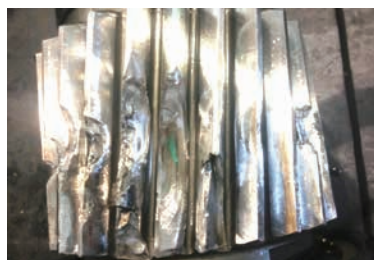


图1 输出轴受损宏观图片

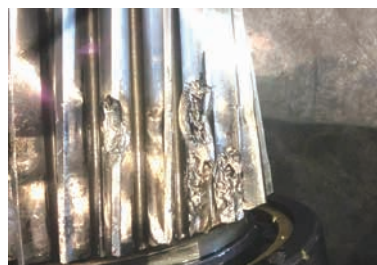
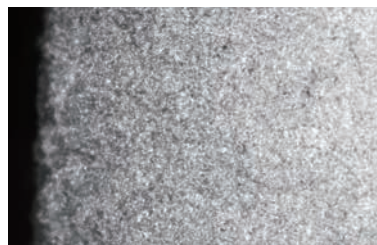


图2 金属剥落区图片

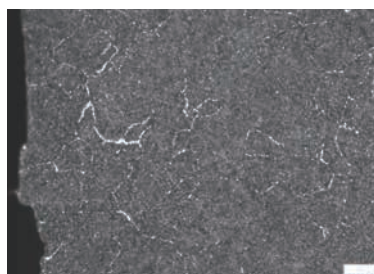


(a) 表面组织(齿面)

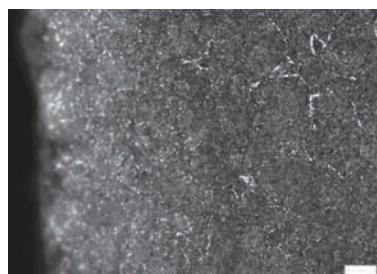


(b) 表面组织(齿根)

图 3



(a) 碳化物(齿面)



(b) 碳化物(齿根)

图 4

2254测得该碳化物级别为5级,不符合技术标准要求。严重的网状碳化物的存在会使渗层变脆,影响到齿轮的使用寿命。

硬度和硬化层深度见附表,由结果可以看出该输出轴齿轮的硬度和硬化层深度均符合技术标准要求。

2. 试验结果与分析

由图6~图10可以看出裂纹的方向大致平行,且在微裂纹萌生位置可以看到明显的金属塑性流动,裂纹方向与塑性流动方向一致。且在节线处可以看出表面组织存在分层现象,经过分析存在3个层次,表层白亮区为淬火马氏体组织,相邻为回火区,再向里为正常的渗层组织^[2]。

由上述结果可以判断,齿面金属剥落的原因可分成四个阶段。第一阶段首先在齿面出现沿着滑动摩擦力方向的塑性流动,越靠近表层,塑性变形越严重。第二阶段在塑性变形的薄弱区出现沿着塑性流动方向初始裂纹,并有向深处扩展的趋势。第三阶段为初始裂纹的扩展,当润滑油进入裂纹后被封住,产生很大油压,使裂纹扩展,最终形成麻点剥落。第四阶段为剥落坑继续扩大^[3]。

裂纹产生取决于应力分布及相应部位材料的抗力,在有相对滑动的条件下,在齿面切应力和摩擦力共同作用下产生微裂纹。经分析,该输出齿轮轴的微裂纹形成方向与摩擦力方向一致,可见摩擦力对轮齿表面裂纹的形成起重要作用^[4]。正常情况下齿面在啮合区应存在润滑油膜,这样

会大幅降低轮齿间的摩擦力,起到润滑冷却作用。而图10所示区域组织表明,齿轮在运行过程中节线处受到了高温回火,而该高温只能来自于摩擦热,说明输出轴齿轮在实际工作中润滑冷却严重不足,同时该处组织还会降低材料表面塑性抗力,降低其接触疲劳强度,加速了裂纹的形成。

在整个啮合过程中,由于轮齿表面出现了金属剥落,使齿轮接触的精度和准确性下降,在传动过程中造成轮齿局部受载不均匀。同时点蚀和剥落的存在使齿轮的啮合扭转刚度减小,在接触位置轮毂扭矩不变的情况下,使轮齿的扭转角度变大,其中轮齿在节线附近啮合时扭转角度最大,最终影响齿轮配合,造成个别轮齿过载断裂^[5]。

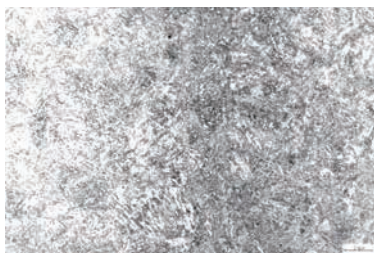


图5 心部组织

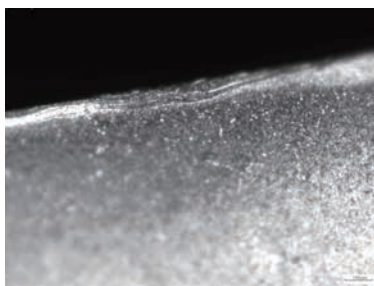


图6 金属塑性流动

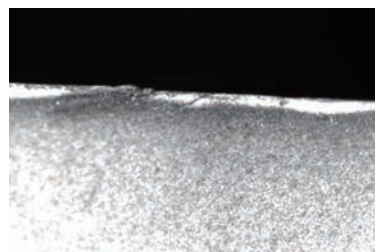


图7 裂纹萌生

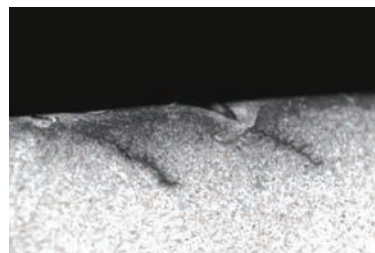


图8 裂纹扩展

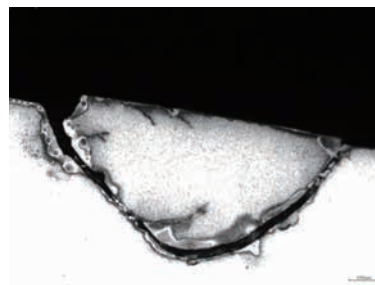


图9 剥落坑扩大



图10 节线处组织

3. 结语

(1) 润滑不良和冷却不足,使齿面啮合部位存在较大摩擦力,是此次输出轴齿轮齿面金属剥落形成的主要原因,最终导致个别轮齿过载折断。

硬度和硬化层深检验表

位置	齿根	节圆	齿顶
表面硬度HRC	58.5	59.0	59.0
硬化层深度/mm	2.1	2.0	2.5



■ 邹君文

斗轮机回转齿轮断裂原因分析

我公司检修人员在现场巡检过程中发现3#斗轮机回转机构西侧驱动小齿轮有一块脱落，当时3#斗轮机加仓取料刚刚结束。仔细检查后发现3#斗轮机驱动小齿轮沿一齿的两侧根部向轴心方向发生整体断裂，如图1所示。

断裂齿轮模数24，齿数17，材质为42CrMo+QT锻件，齿面中频感应淬火，硬度 (57 ± 6) HRC。对该断裂齿轮进行理化检验，以找出具体原因。

1. 宏观检查

图2是断裂齿轮断面的宏观照，断裂的位置均处于外齿与内齿的根部；断口宏观没有明显的塑性变形，未见疲劳纹，呈脆性断裂；图2b中断口宏观外壁处具

有明显的放射状条纹，其收敛处指向外壁，说明断裂是由外齿的根部向内扩展的。

2. 成分分析

使用SPECTROTESTCCD移动式金属分析仪对断裂齿轮进行直读光谱化学成分测试，结果见附表，符合GB/T3077—1999《合金结构钢》标准中42CrMo优质钢的化学成分要求。

3. 金相与力学性能分析

图3是该齿轮金相组织的照片，金相组织为铁素体+珠光体

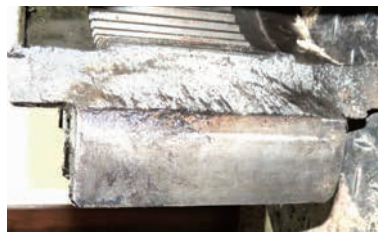


图1 断齿宏观照

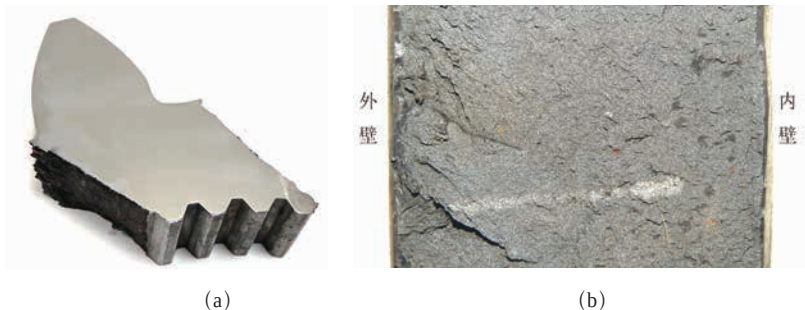


图2 断面宏观照

(下转第19页)

(2) 轮齿表面存在较严重的网状碳化物，会使渗层变脆，表面接触疲劳强度降低，影响齿轮的使用寿命^[6]。建议加强对热处理过程控制，减少网状碳化物的形成。

参考文献

[1] 郭志德, 邵尔玉. 齿轮的失效分析[M]. 北京: 机械工业出

版社, 1992.

[2] 崔忠圻, 刘北兴. 金属学与热处理原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.

[3] 朱敦伦. 齿轮接触疲劳破坏机理的探讨[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1979.

[4] 黄锡恺. 机械原理[M]. 北京: 人民教育出版社, 1981.

[5] S戈康达. 金属的疲劳与断裂

[M]. 颜鸣皋, 译. 上海: 上海科学出版社, 1983.

[6] 范垂本. 齿轮的强度和实验[M]. 北京: 机械工业出版社, 1979.

作者简介: 陈润松、姜永升、李忙、于建英, 中车北京南口机械有限公司。

MW 20160716